

太阳 γ 射线辐射及测量

报告人：李 哲

合作者：何会海 陈松战

中国科学院高能物理研究所

2016.8.17 于 南开大学

内容
Contents

A 太阳 γ 射线研究简介

P03 ~P10

B 盘成分 γ 射线理论模型

P11 ~P19

C ARGO-YBJ 测量上限

P20~P23

D 总结与展望

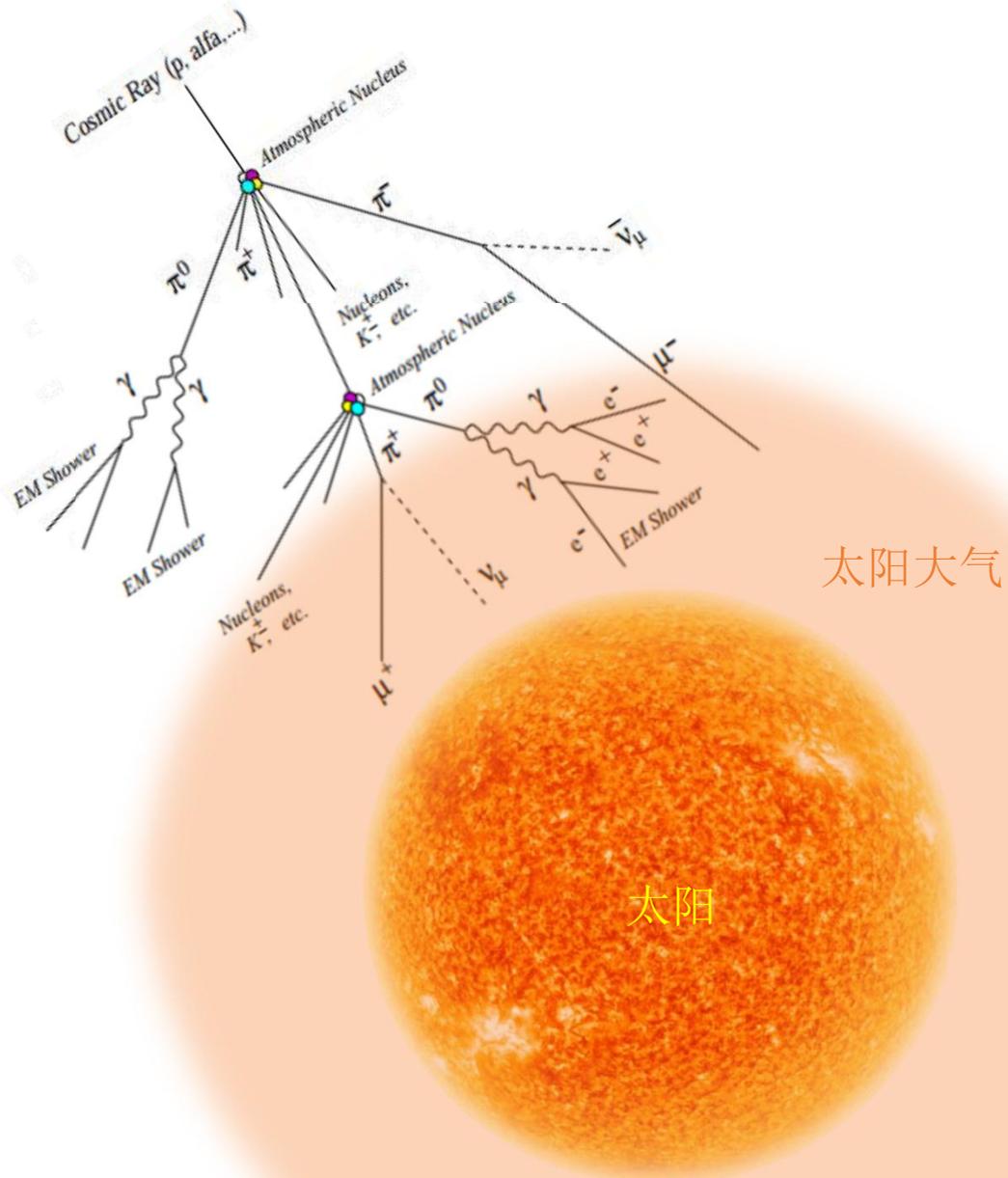
P24

A 太阳 γ 射线研究简介

P03 ~ P10



太阳 γ 射线的来源



- 太阳本身辐射的 γ 射线，能量 $<10\text{GeV}$
- 宇宙线电子和正电子与太阳光子的IC散射产生 γ 射线
 - ✓ “**IC component**”
- 宇宙线与太阳大气发生强相互作用产生的 γ 射线
 - ✓ “**Solar disk component**”



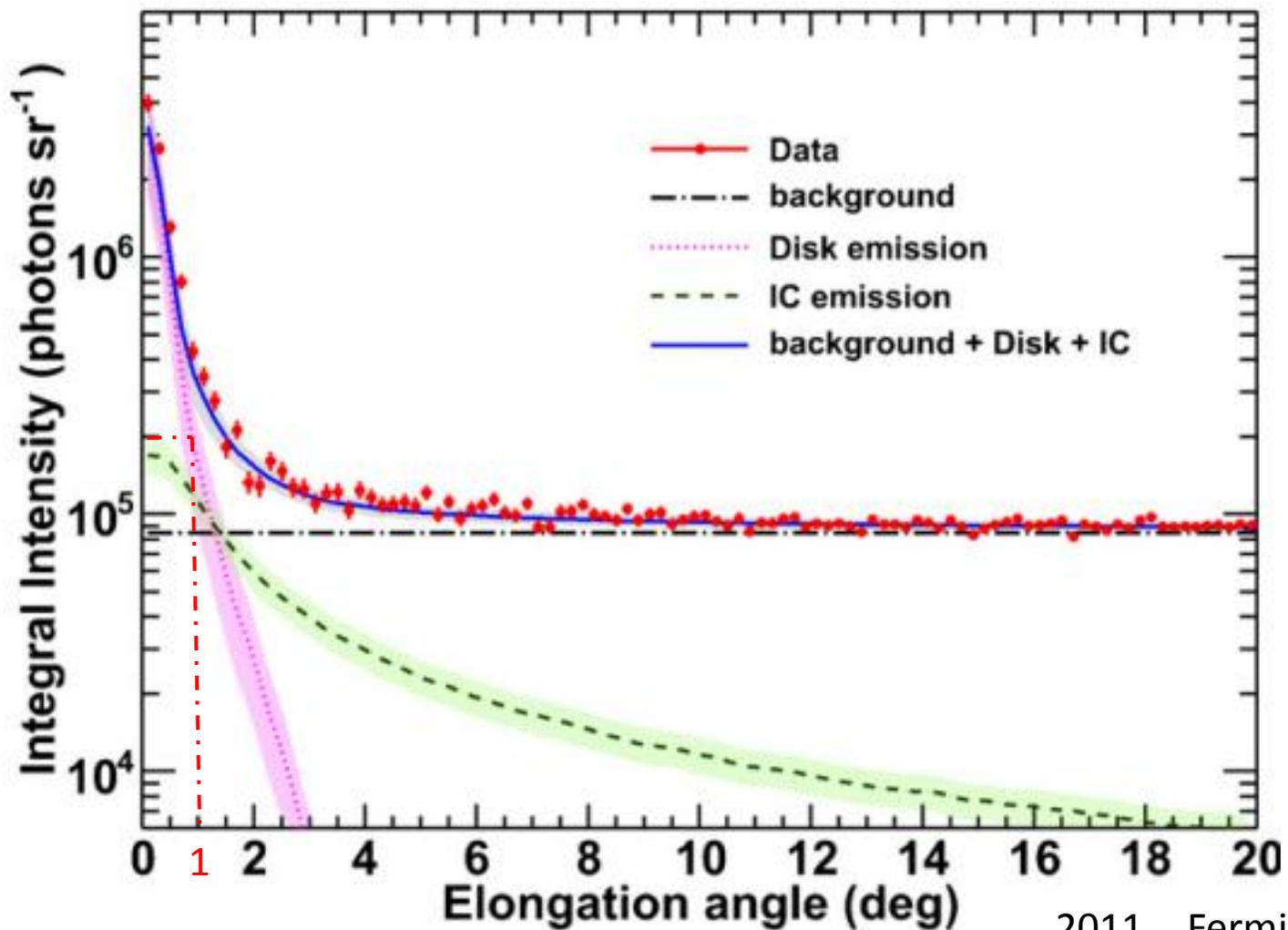
研究太阳 γ 射线的意义

SLAC NATIONAL
ACCELERATOR
LABORATORY

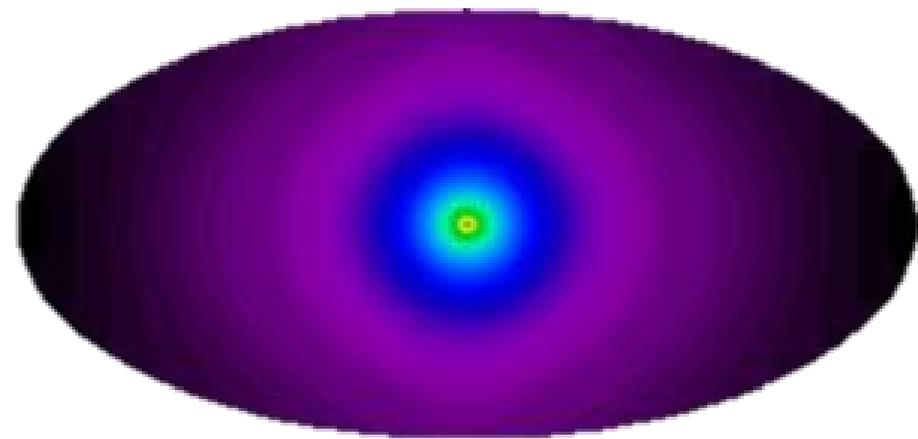
Gamma Rays from the Sun: A New Way for Looking at the Solar System

- ✓ 太阳系内的电子谱;
- ✓ 预测邻近太阳的质子谱以及深层太阳大气;
- ✓ 通过探测CR与太阳大气产生的中微子, 研究太阳核心的质量分布;
- ✓ 对测量其它宇宙 γ 射线源的分析很重要;
- 带动相关研究, 如带电粒子在太阳系中的传播?
- 新物理的发现... ..

太阳大气与宇宙线相互作用产生的两种重要成份分布



2011, Fermi



(CR与sunlight作用产生的γ-ray分布.2006,SLAC)

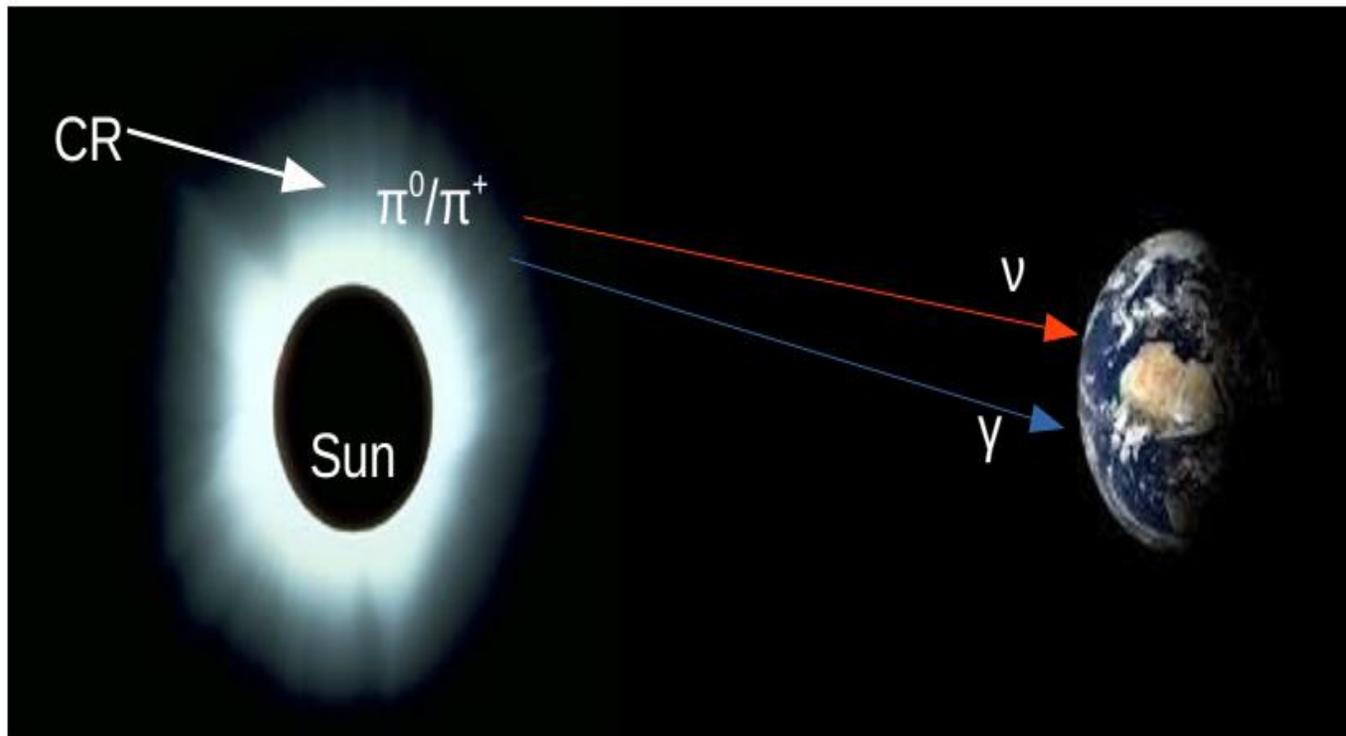
A3 | 太阳盘成分 γ 射线相关的研究

1991年, Steckel et al, 建立了宇宙线与大气相互作用产生**10MeV-10GeV** γ 辐射的理论模型;

2008年, EGRET报道了来自Solar disk **100-300MeV**的 γ 射线辐射;

2011年, Fermi 用其1.5年的数据报道了**0.1-10GeV**太阳disk γ 射线的观测结果;

2015年, Kenny等人用Fermi 6年的数据报道了**1-100GeV**太阳disk γ 射线的观测结果;



模型对10MeV-10GeV太阳盘成份 γ 射线的预期

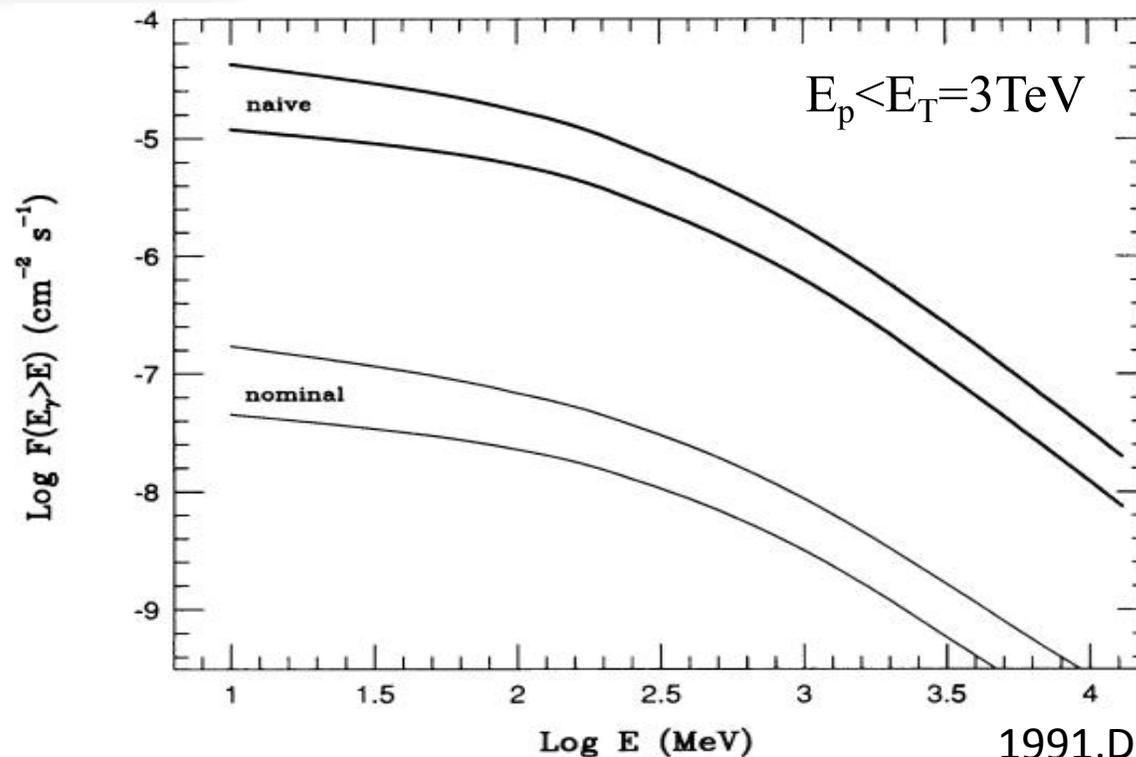
The γ -ray luminosity of the Sun:

$$\frac{dL_\gamma}{dE_\gamma}(E_\gamma) = \sum_i \int_E^{E_{T_i}} Y_i(E_\gamma, E_i) \Gamma_i(E_i) dE_i$$

其中:

$$\Gamma = \frac{AC_D \Gamma_N}{A + C_D - AC_D}$$

$$Y_i(E_\gamma, E_i) = \int y_{\gamma i}(E_\gamma, E_i, x) \frac{dP_i}{dx} dx$$

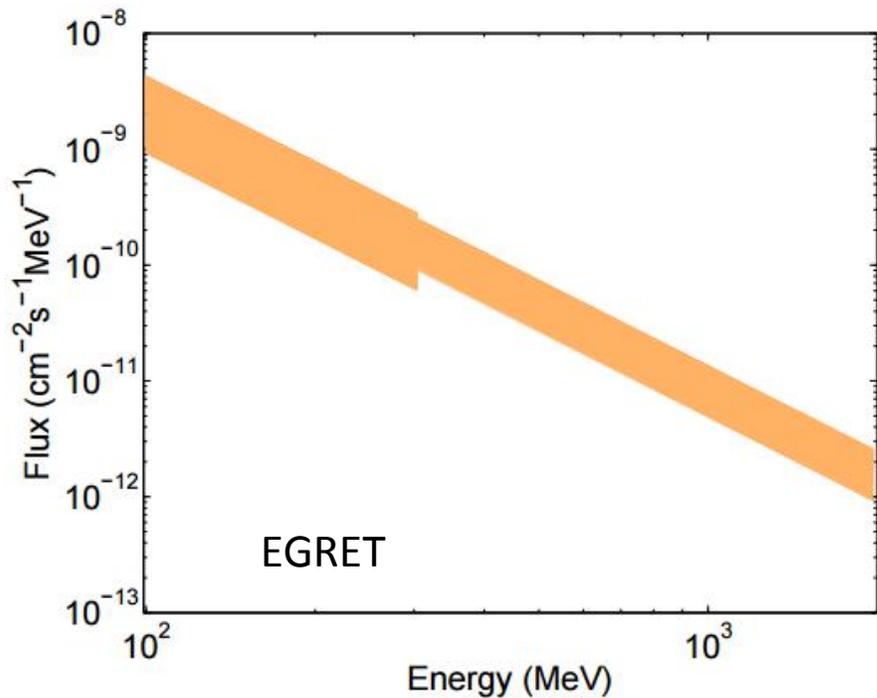


1991, D.Steckel

Naïve模型中假设存在太阳的吸收,但忽略了太阳风的调制影响;

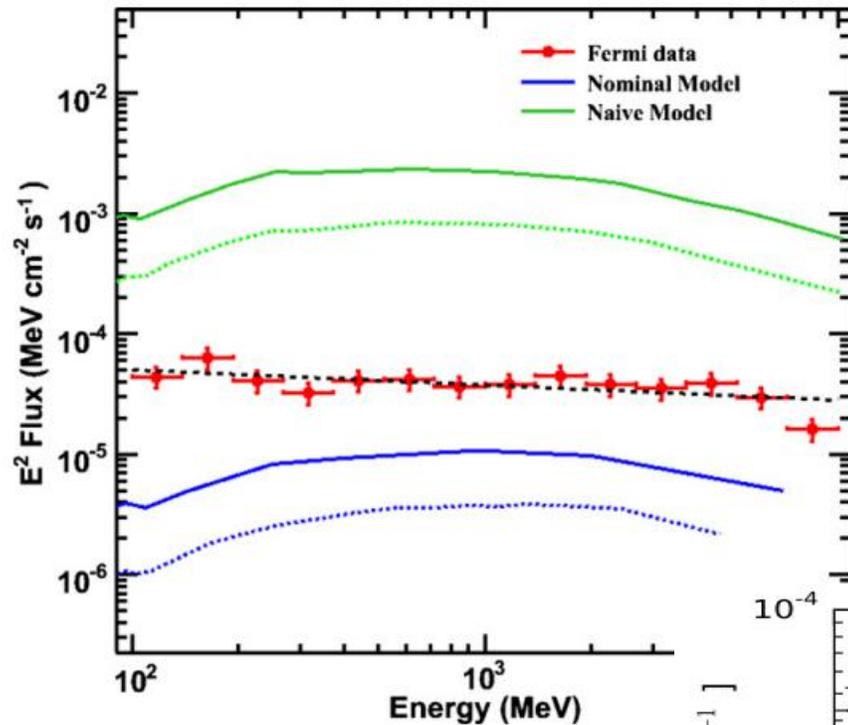
Nominal模型假设存在IMF和corona层的弥散;

A5 | 实验观测与模型的对比



2013, Orlando, et al.

Source	100-300 MeV	>300MeV
Extended	2.1±1.3	1.7±0.9
Model extended	1.3	0.9
Disk	1.4±0.9	0.4±0.2
Seckel's disk model	0-1.1	0.1-0.5

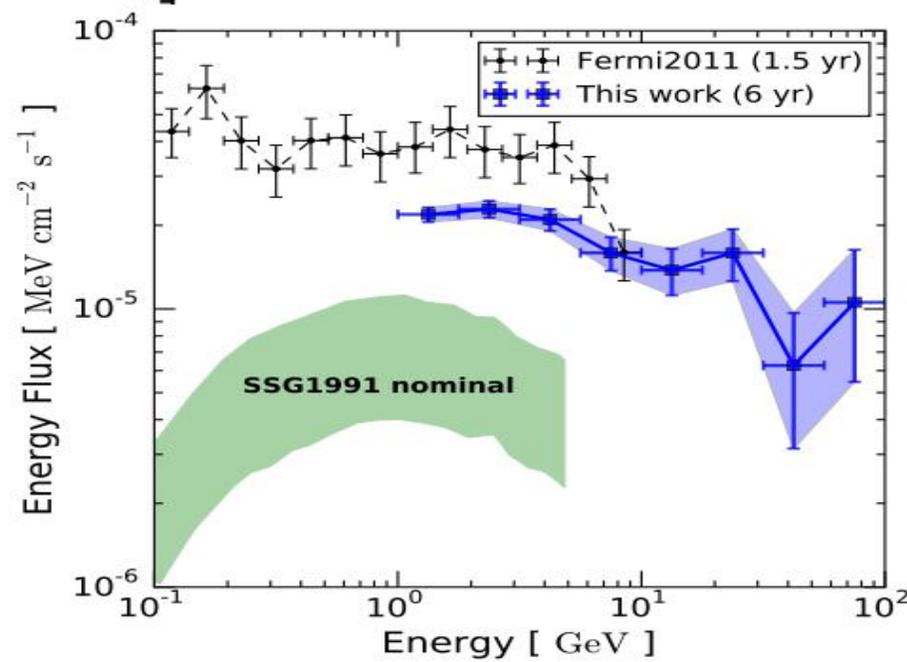


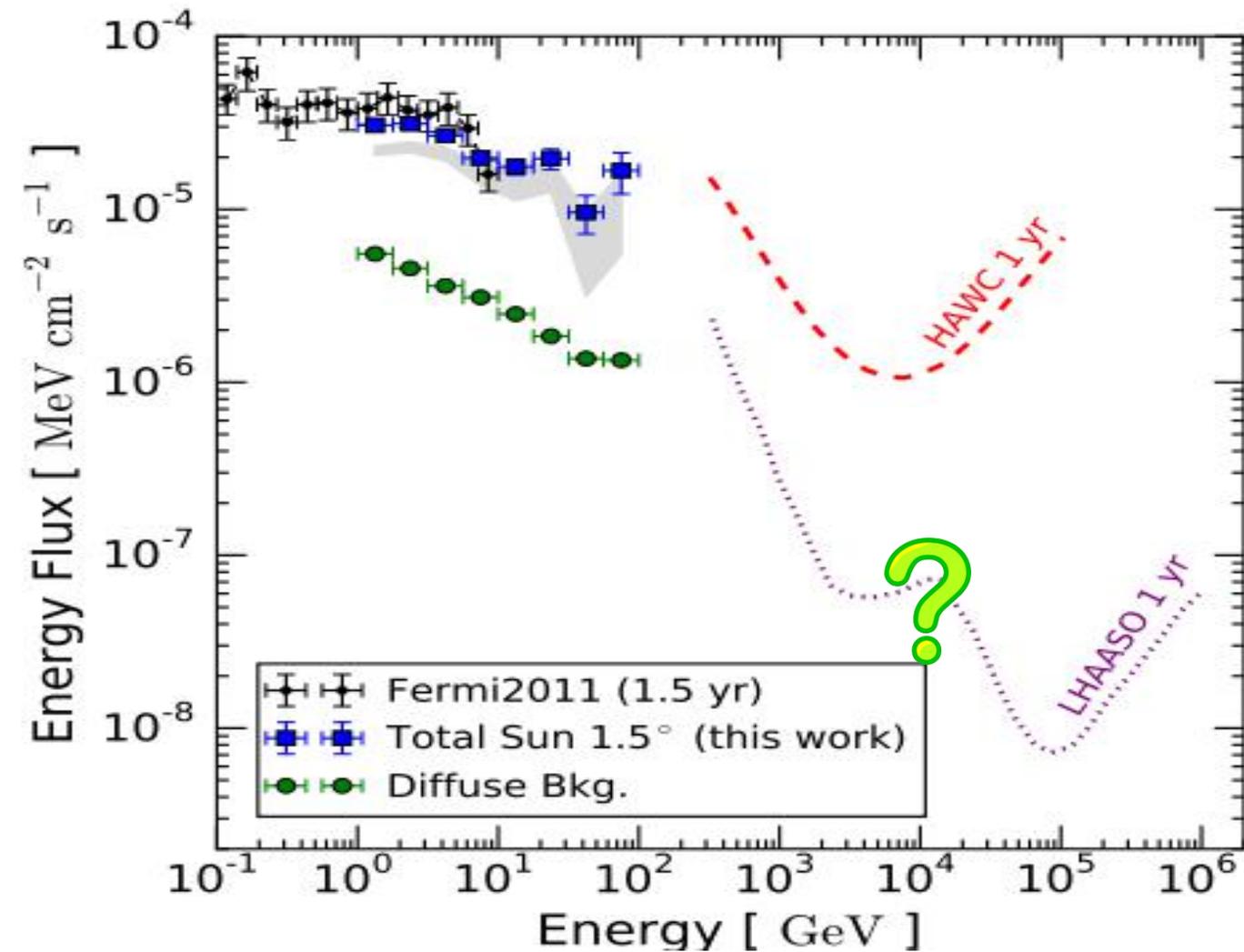
2011, Fermi

分析1.5年数据, 0.1-10 GeV 的solar disk γ 射线流强。

2015, Kenny C. Y. Ng

用Fermi >6年的数据, 对1-100GeV的 γ 射线数据分析。





- 在 $>10\text{GeV}$ 能段的太阳盘 γ 射线还没有理论预期;
- Kenny 等人指出对大面积水 cherenkov γ 射线望远镜 (HAWC 和 LHAASO) 而言, 太阳是一个新的和有前途的源;

B 盘成分 γ 射线理论模型

P11 ~ P19

B1 | 理论模型的建立

原理依据: $p+p \rightarrow \gamma$

计算范围: $< 3.8R_0$;

假设条件: 忽略了太阳磁场对高能宇宙线的影响;

忽略了太阳背景光对高能 γ 的吸收;

忽略了星系间和太阳磁场会影响太阳对宇宙线的吸收;

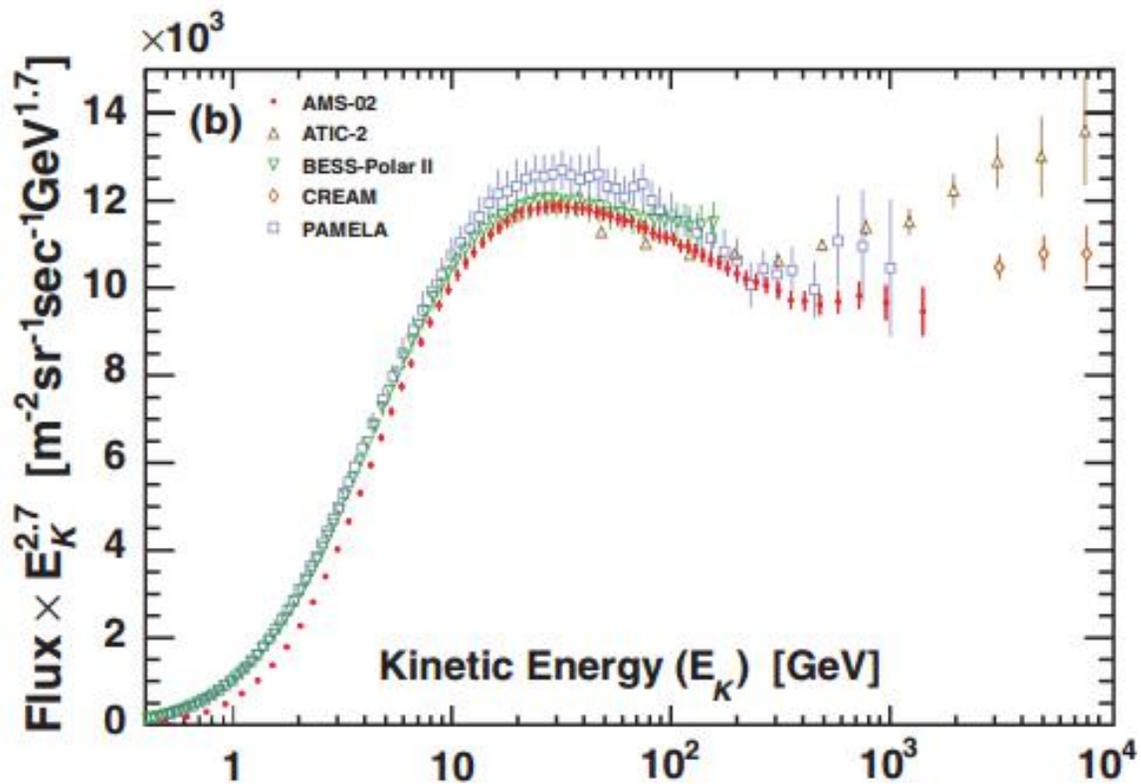
采用近地球宇宙线质子流强结果;

理论模型:
$$\Phi = \int \frac{dN_{CR}}{dE_{CR}}(E_{CR}) \times F_{\gamma}(E_{CR}) \times \sigma_{pp}(E_{CR}) dE_{CR} \int 4\pi r^2 \rho_c(p) dr \int \sin \theta d\theta d\varphi$$



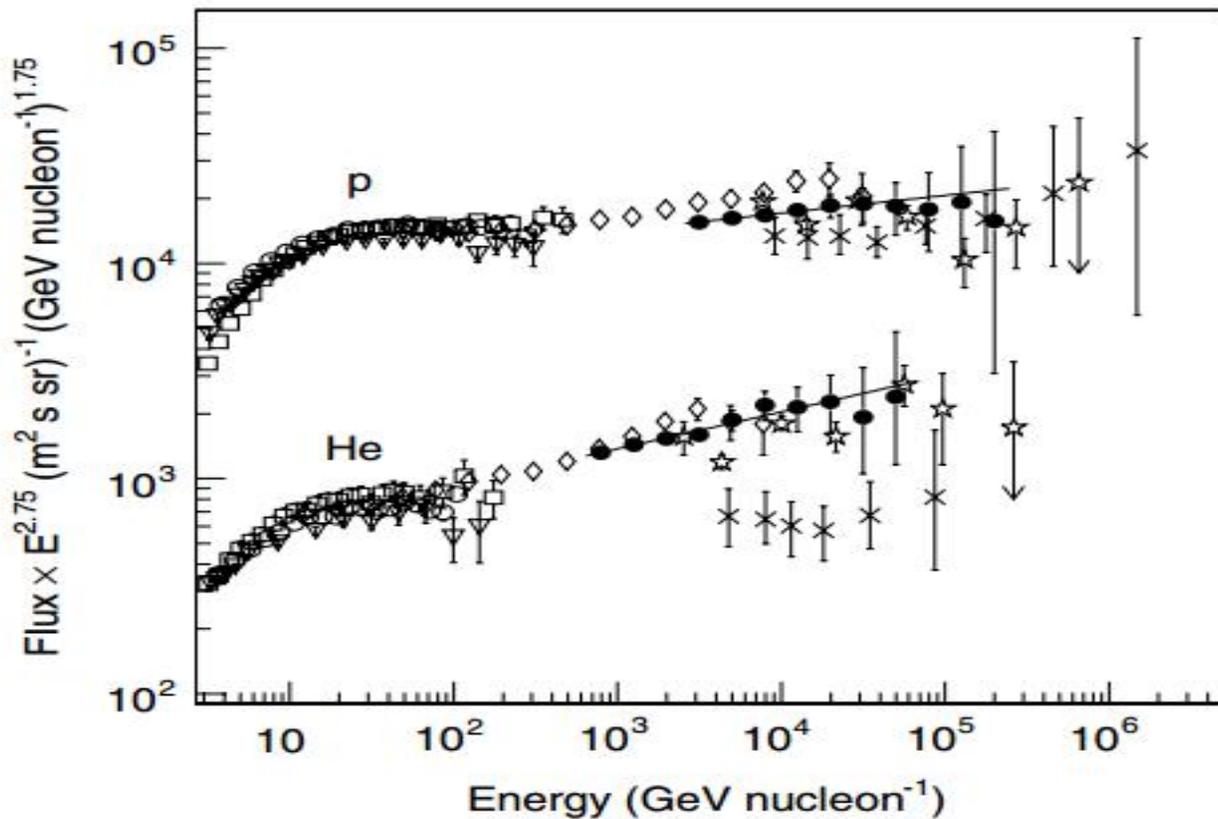
需要知道的量: 宇宙线质子能谱、 pp 作用产生的 γ 能谱分布、 $p-p$ 截面、太阳大气的质子数量;

B2 | 宇宙线质子能谱



2015, AMS

1GeV-1.8TeV

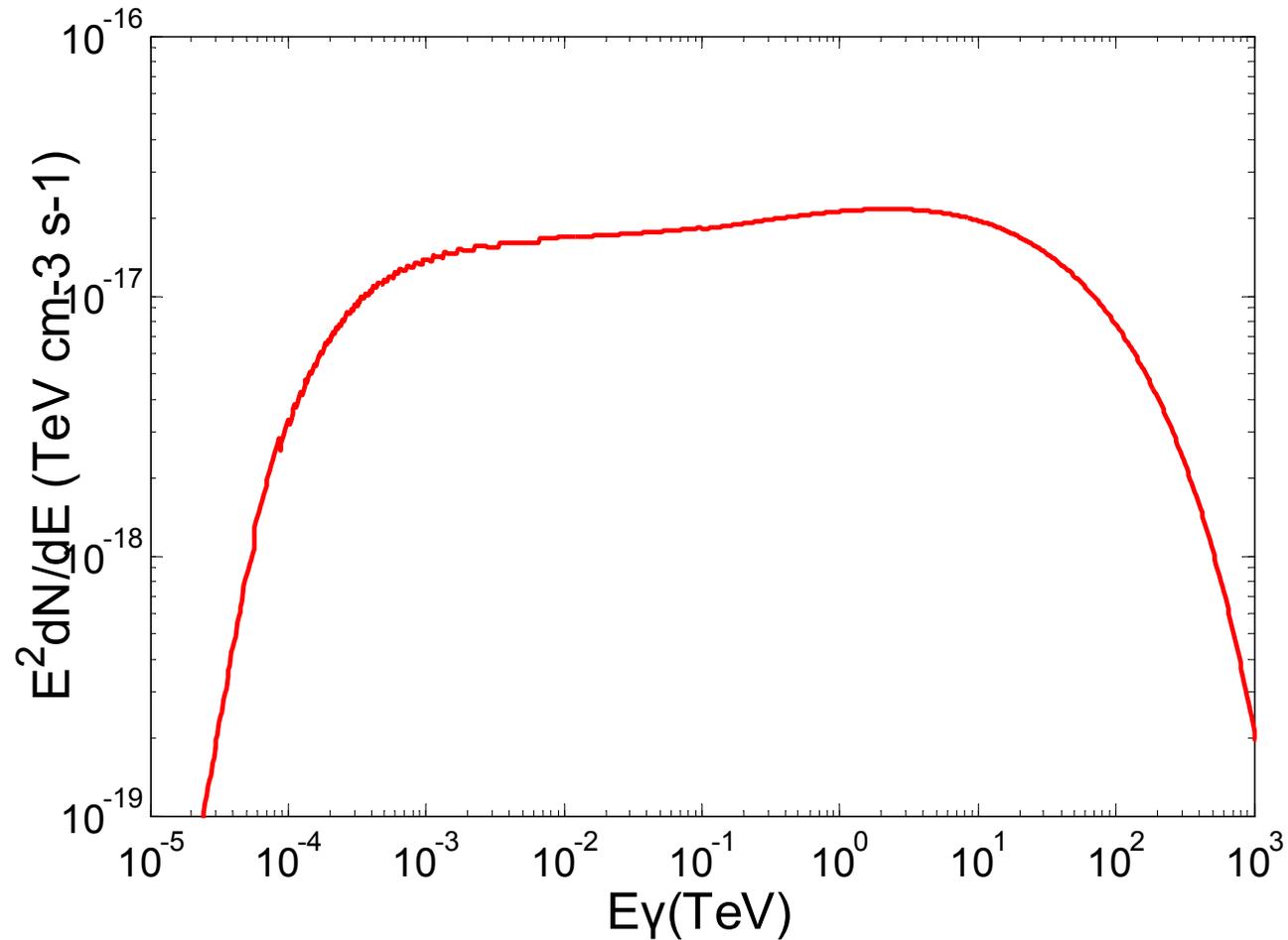


2011, Cream

2.5-250TeV

Ecut=1PeV

B3 | 质子作用产生的 γ 能谱



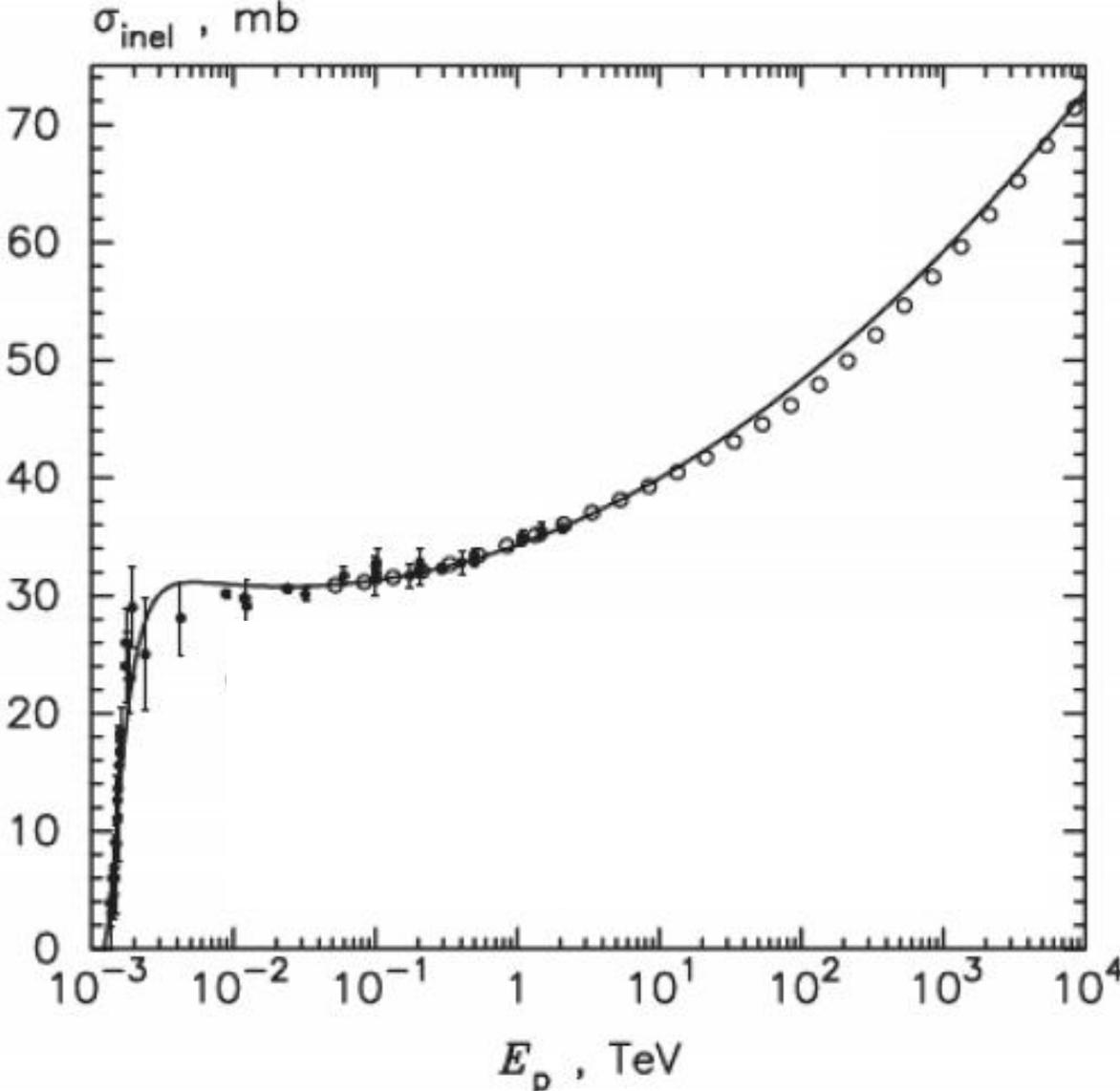
2006, S.R. Kelner, et al.

文中用到的质子谱:

$$J_p(E_p) = \frac{A}{E_p^\alpha} \exp\left[-\left(\frac{E_p}{E_0}\right)^\beta\right]$$

$$\alpha=2; \beta=1; E_0=1\text{PeV};$$

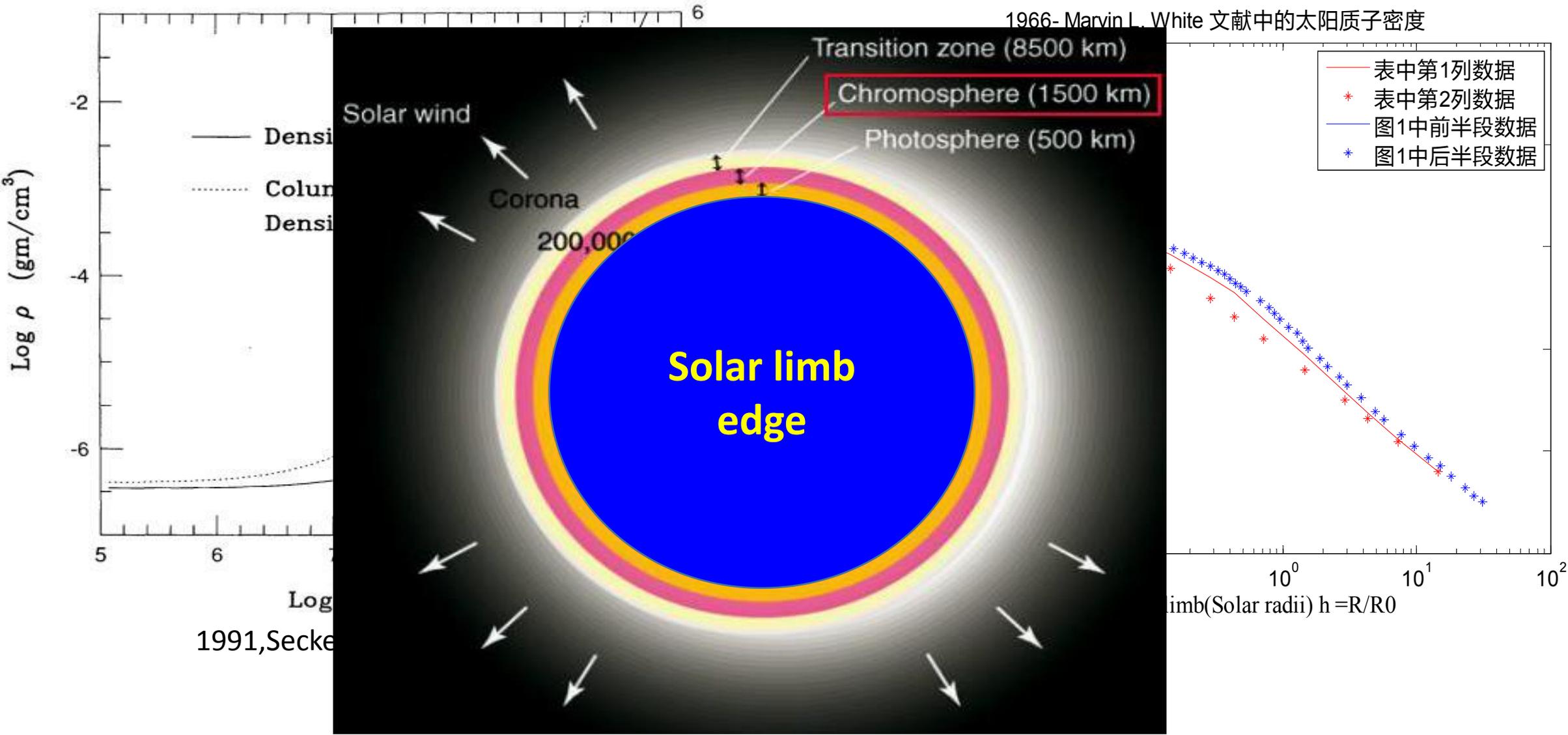
B4 | P-P作用截面

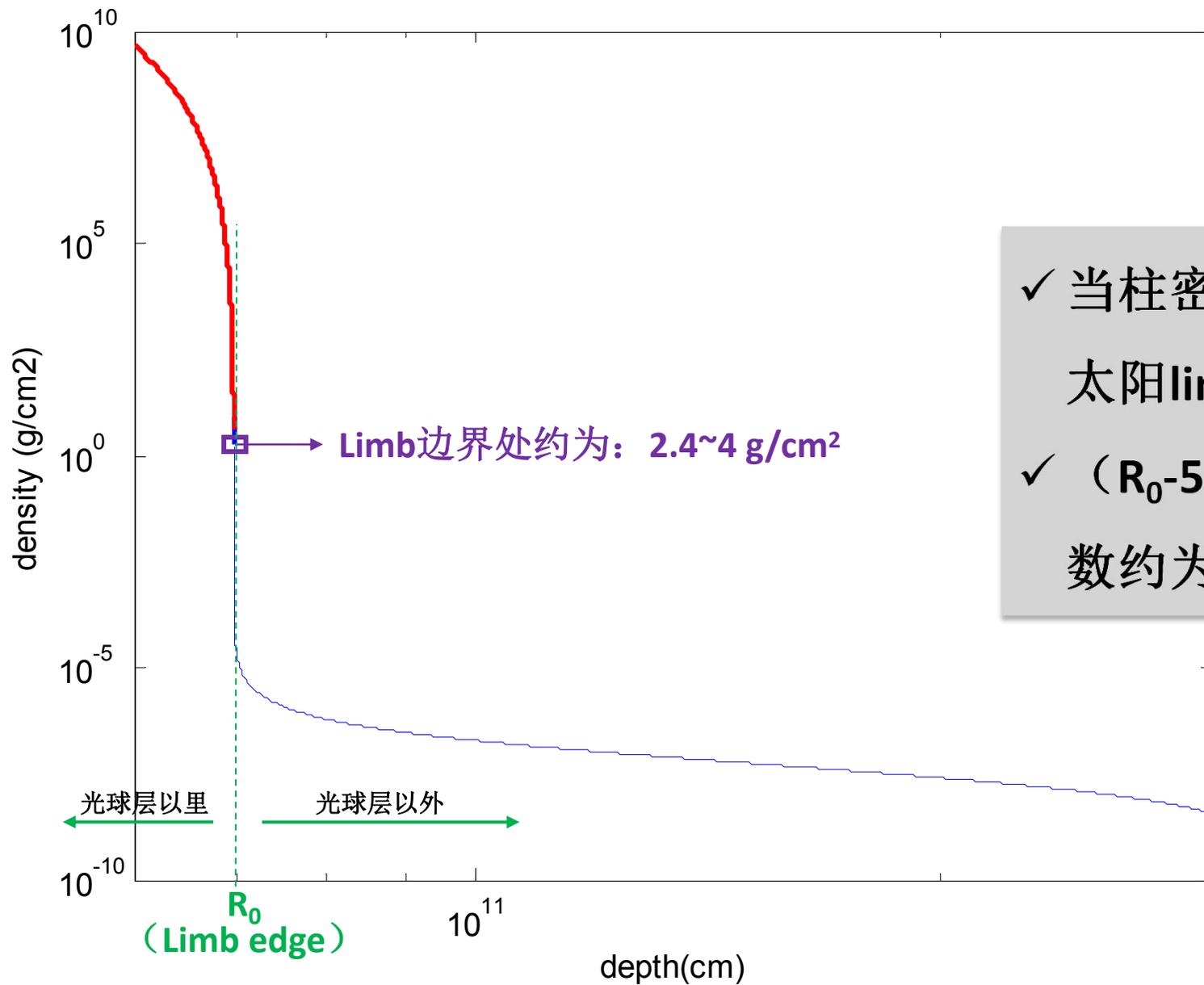


Kelner S R, 2006

B5 | 太阳的质子密度分布

1966- Marvin L. White 文献中的太阳质子密度

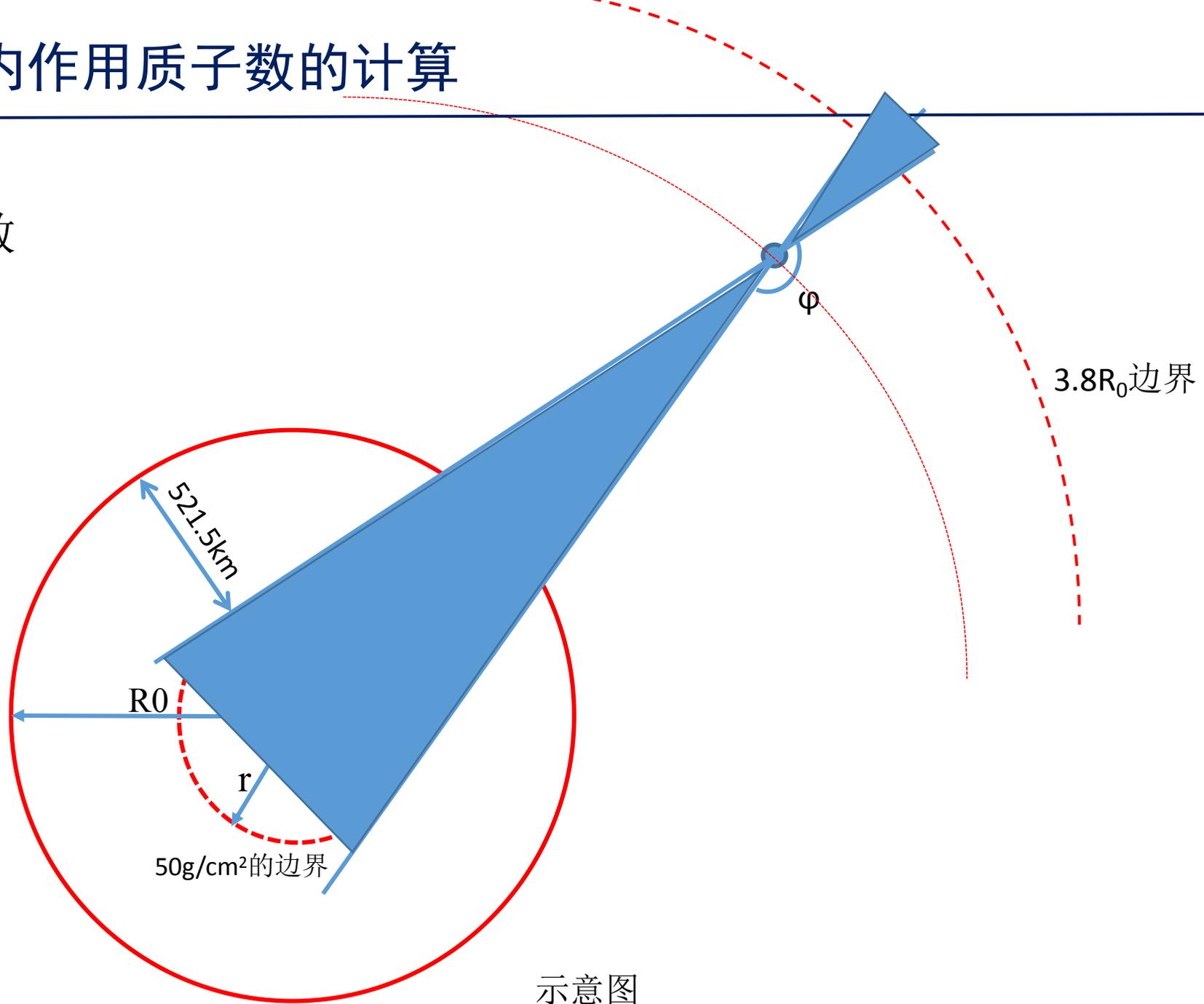




- ✓ 当柱密度为50g/cm²时，可以达到太阳limb以内521.5km处；
- ✓ ($R_0 - 521.5$)~ $3.8R_0$ 球体中总的质子数约为: 6.62×10^{47} ;

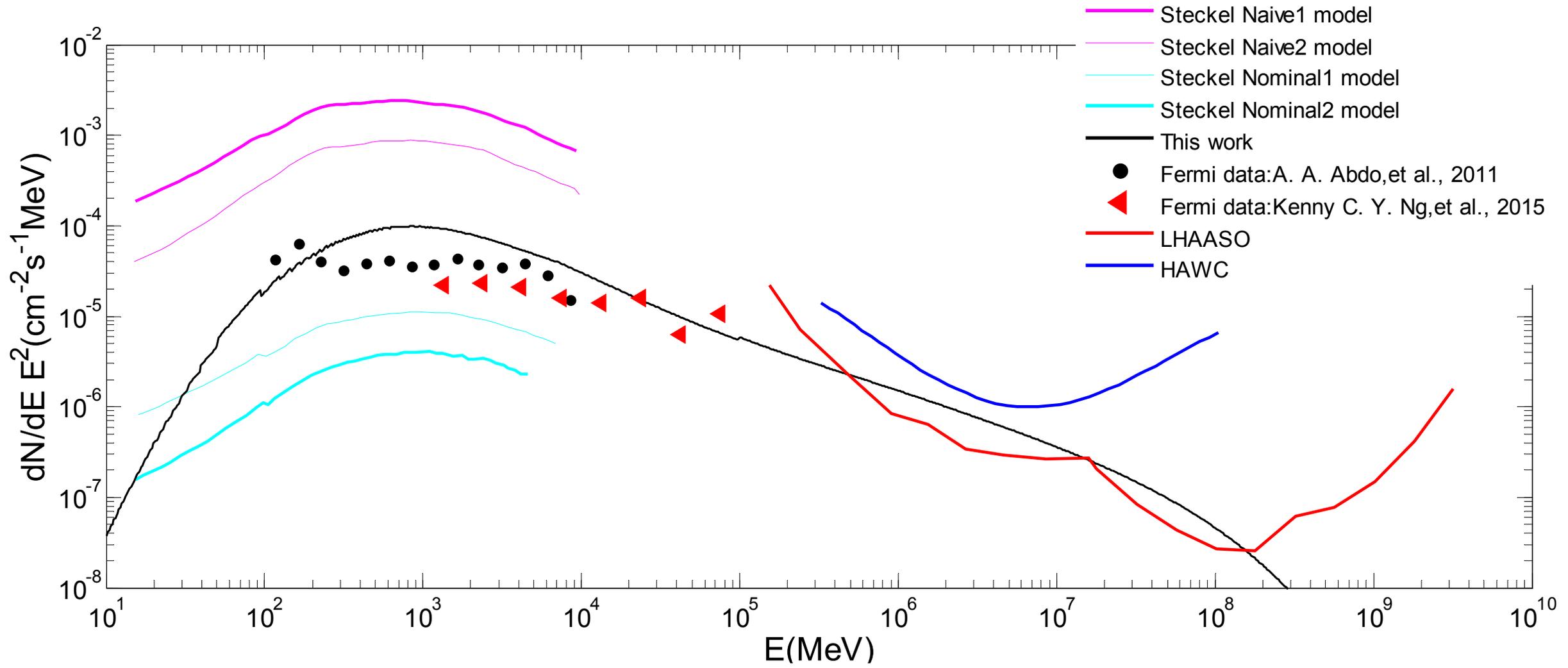
B6 | 有效角度范围内作用质子数的计算

φ 角范围内总的质子数



示意图

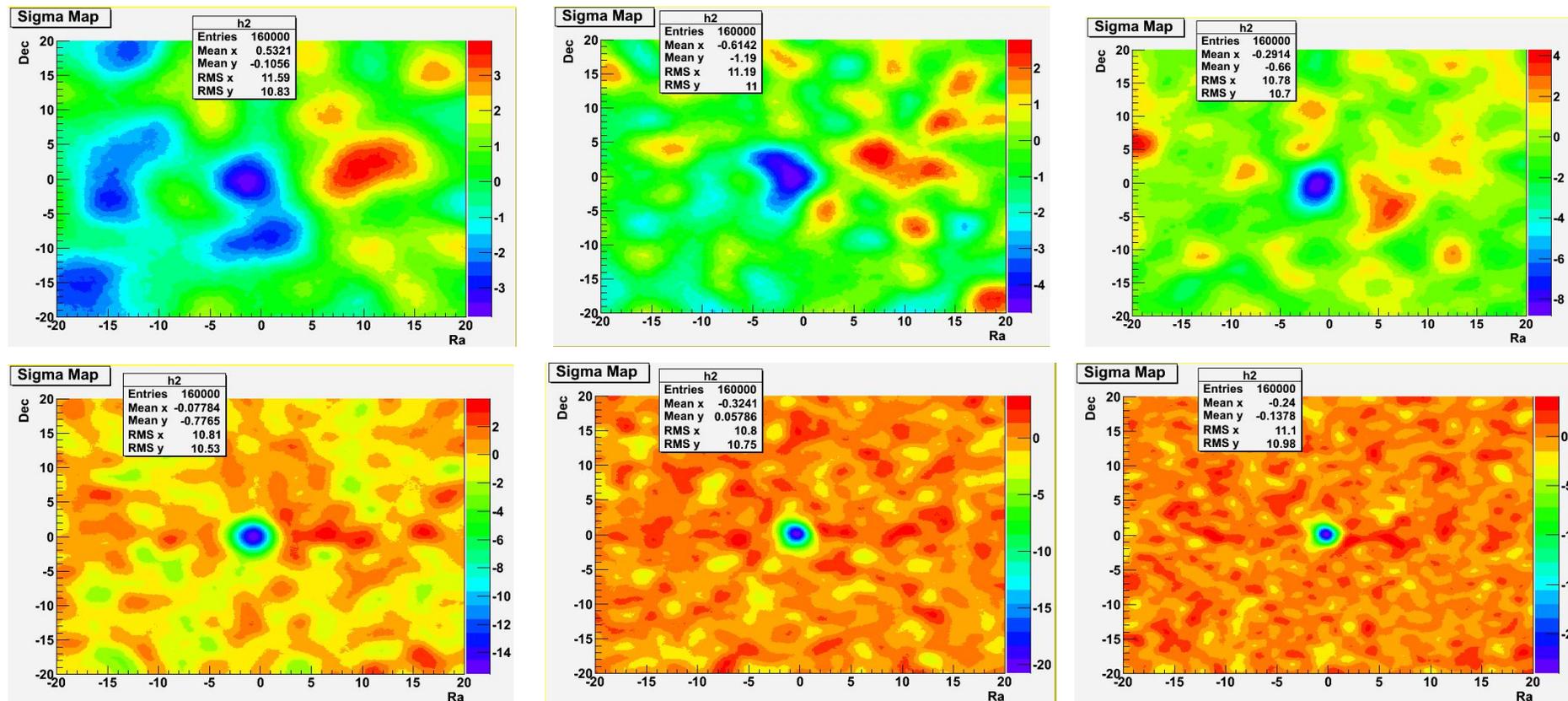
B7 | 模型计算结果与分析



C ARGO-YBJ测量太阳盘成分 γ 流强上限

P20 ~ P23

C1 | ARGO-YBJ测量数据2007.11-2013.2



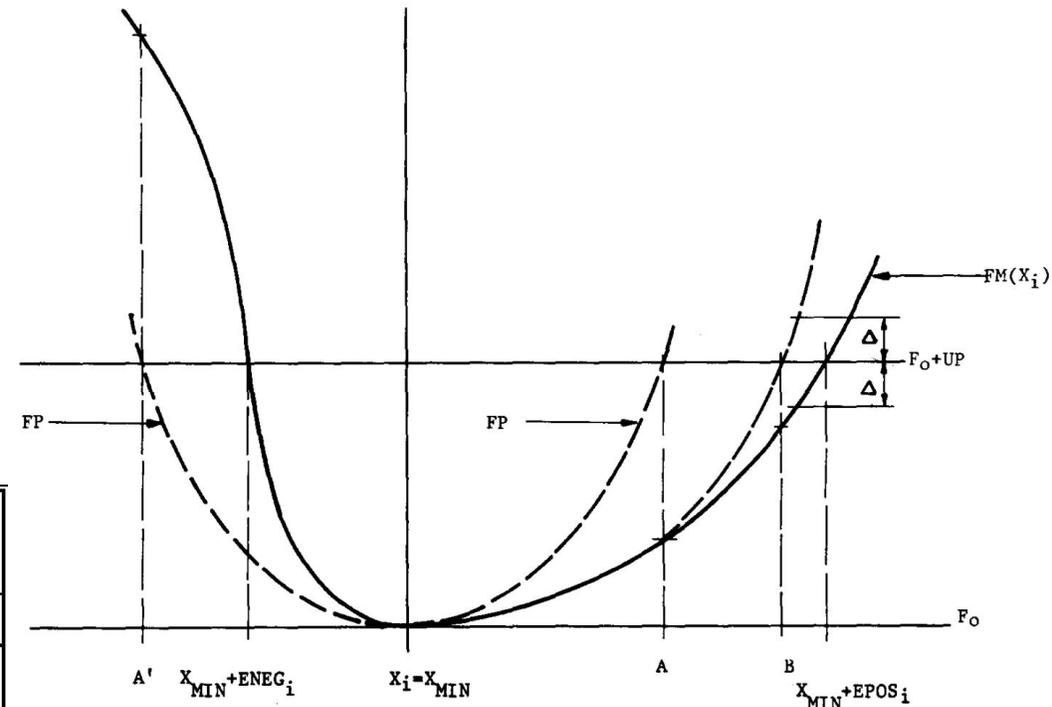
	事例数1	事例数2	事例数3	事例数4	事例数5	事例数6
能量(TeV)	0.422	0.75	1.33	2.37	4.22	7.50
CR 角分辨 (度)	2.36	1.66	1.42	1.10	0.78	0.59
γ 角分辨 (度)	1.74	1.28	1.24	0.96	0.71	0.57

C2 | ARGO-YBJ测量太阳盘成分 γ 射线上限计算方法

$$\chi^2 = \sum_j^{ROI} \left(\frac{(Non_j - Nb_j) - (\gamma_{s-} + \gamma_{s+})}{\sqrt{Nb_j + \alpha Non_j}} \right)^2$$

计算**90%**置信水平下的正源流强上限:

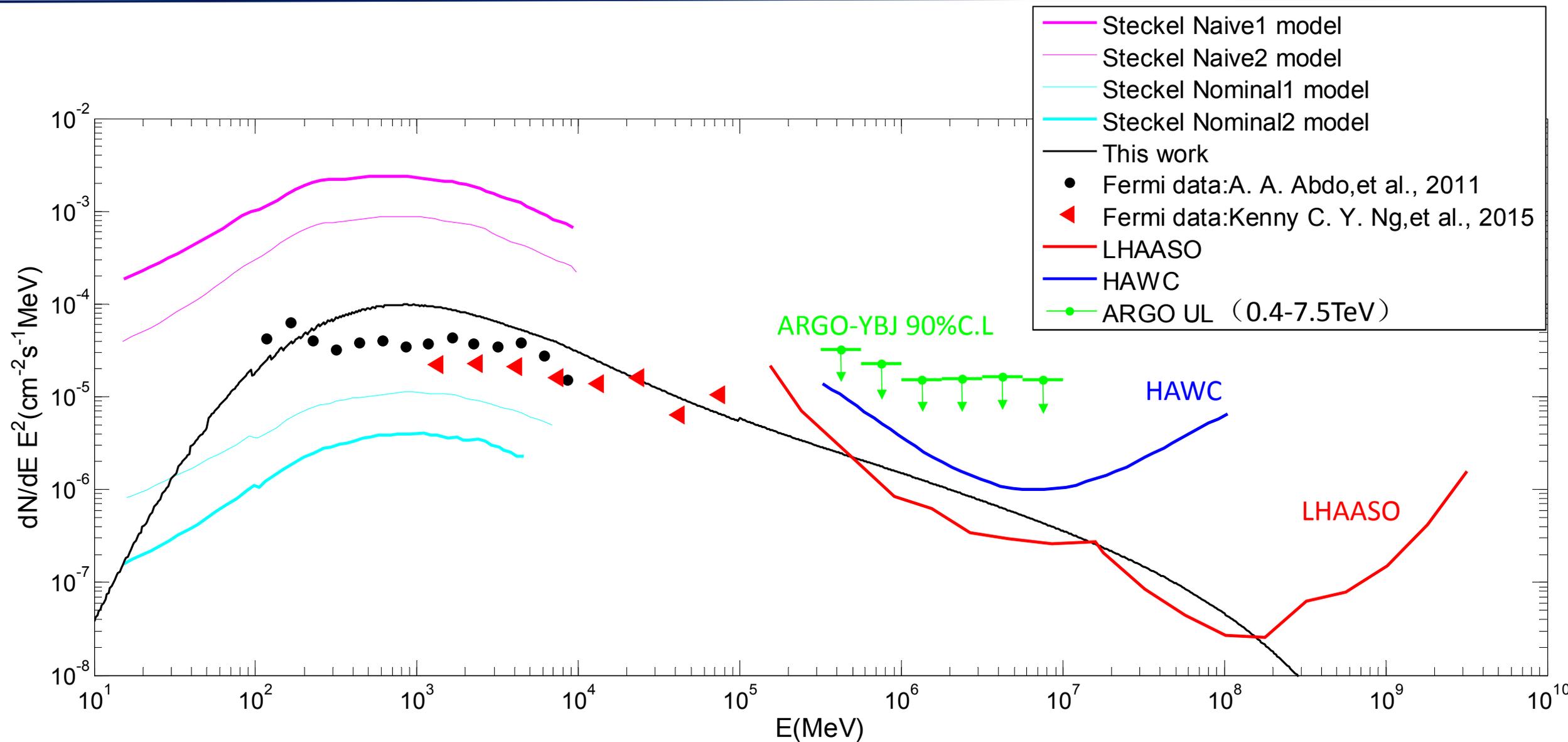
Number of Parameters	Confidence level (probability contents desired inside hypercontour of $\chi^2 = \chi_{min}^2 + up$)				
	50%	70%	90%	95%	99%
1	0.46	1.07	2.70	3.84	6.63
2	1.39	2.41	4.61	5.99	9.21



1975,James

2004,James

C2 | ARGO-YBJ测量太阳盘成分 γ 射线上限



总结

一、初步建立了0.01GeV-1000TeV的太阳盘成分 γ 射线能谱模型；

二、初步得到了ARGO-YBJ分析太阳盘成分 γ 射线流强的上限；

展望

LHAASO有着较高的能量探测范围（百GeV-TeV），也可进行质子- γ 区分，预期能够用于探测来自于太阳大气的盘成分 γ 射线，尤其是可以填补TeV段观测的空白，也有利于建立高能段的理论预期模型。现阶段所进行的一些前期探索研究，有望用于LHAASO观测太阳 γ 射线的物理分析，太阳附近的宇宙线能谱。



谢谢!

